

석탄회를 이용한 제올라이트의 합성과 중금속 흡착 특성

류완호[†] · 이원목 · 홍필선 · 양천회 · 인재영* · 백일현** · 이병노***

한밭대학교 화학공학과 에너지청정기술연구소

305-719 대전시 유성구 덕명동 산 16-1

*공주대학교 화학공학과

314-701 충남 공주시 신관동 182

**한국에너지기술연구원 에너지환경연구부

305-343 대전시 유성구 장동 71-2

***(주)대진환경산업

519-813 전남 화순군 능주면 잠정리 7-3

(2003년 3월 31일 접수, 2003년 6월 30일 채택)

The Synthesis of Zeolite Using Fly Ash and Its Heavy Metal Adsorption Performance

Wan-Ho Roo[†], Won-Mook Lee, Phil-Sun Hong, Chun-Hoe Yang, Jae-Young Ahn*, Il-Hyun Baek** and Byong-Ro Lee***

Department of Chemical Engineering, Hanbat National University RCECT, San 16-1, Dyckmyoung-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-719, Korea

*Department of Chemical Engineering, Kongju University, 182 Shinkwan-dong, Kongju, Chungnam 314-701, Korea

**Korea Institute of Energy Research, Energy & Environ., Research Department, 71-2 Jang-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-343, Korea

***Daejin Environment Industry, 7-3 Jamjeong-ri, Nungju, Hawssoon-gun, Chonnam 519-813, Korea

(Received 31 March 2003; accepted 30 June 2003)

요 약

석탄회를 이용, 중금속 제거용 흡착제 제조를 목적으로 NaOH를 반응물로 한 수열합성 반응으로 제올라이트를 합성하였으며, 이에 대한 성능특성 및 중금속 흡착실험을 수행하였다. SiO₂와 Al₂O₃를 주성분으로 한 석탄회를 NaOH에 의한 수열합성 반응으로 폐수 중에 포함되어 있는 중금속에 대한 제거능력이 높은 제올라이트를 합성하고자 하였다. 따라서 NaOH 농도, 시간을 변화시키면서 제올라이트를 합성하여 실험한 결과 4 M-NaOH, 4시간에서 최적의 조업조건을 얻을 수 있었다. 산에 의한 전처리 과정을 거친 합성 제올라이트는 pH 7-9.5로 중성을 나타내었다. 또한 산처리 합성 제올라이트를 이용하여 중금속인 P, Pb, Cd, Cr, Mn등의 흡착능을 비교한 결과 P, Pb, Cd 등은 비교적 흡착능이 우수하게 나타났지만 Cr과 Mn 등은 pH가 너무 높기 때문에 거의 흡착이 이루어지지 않았다.

Abstract – Zeolite was synthesized from coal fly ash produced by a domestic power plant and has applications in the removal of heavy metal from waste water. Zeolite was synthesized using a hydrothermal method involving an alkaline reaction with NaOH. The NaOH concentration and reaction times were varied in order to synthesize zeolite showing the maximum removal efficiency of heavy metal from waste water. The synthesis conditions were optimized at the concentration of 4M-NaOH and the reaction time of 4hrs. The synthesized zeolite needed washing with HCl solution to improve the removal efficiency of P, Pb, Cd, Cr, Mn and it was maximized at pH 7-9.5 in leaching solution of synthesized zeolite.

Key words: Coal Fly Ash, Zeolite, Heavy Metal, Waste Water

1. 서 론

석탄은 지구의 자원이용 측면과 석유보다 지속적으로 이용할 수 있다는 장점으로 인해 에너지원으로 이용이 확대되고 있다. 우리 나라에서

도 전력에너지 수요를 충족시키기 위해서는 지속적으로 발전소를 건설해야 하지만 원자력 발전은 전원입지 확보에 따른 지역주민과 지자체의 적극적인 협조가 요구되고 있으며, 천연가스 화력발전은 연료비 부담이 가중되고 있고, 무연탄 화력은 국내 탄광의 쇠퇴로 인하여 점차로 감소되고 있는 실정이다. 이에 따라 우리 나라는 1990년대부터 해외에서 수입되는 역청탄이 대용량 발전소의 사용 연료로서 주종을 이루고

[†]To whom correspondence should be addressed.
E-mail: whroo@hanbat.ac.kr

있으며, 현재 6개 발전소에서 9기가 가동되고 있다[1]. 화력발전소에서 석탄 연소 시에 발생하는 황 산화물, 질소 산화물, 분진 등과 같은 대기 오염물질은 여러 가지 제거·처리기술의 발달로 공해문제의 발생을 혁신적으로 줄일 수 있지만, 석탄 연소 후 발생하는 최종 폐기물인 석탄회는 일부가 시멘트의 크링커 제조원료와 콘크리트 혼화제로서 사용하고 대부분을 매립하고 있다. 활용되지 못한 석탄회는 화력 발전소 주변의 해면 가까이에 매립장을 설치하여 폐기하기 때문에 매립 시 연안환경문제의 발생으로 매립지의 확보에 많은 어려움을 안고있는 실정이다. 석탄회의 처리문제를 해결하기 위하여 폐기물의 재활용 촉진 및 재자원화 기술의 개발이 필요하다.

우리 나라에서는 '92년도에 10.6%에서 '96년도에는 20%, '99년도에는 42.5%로 재활용률이 확대되고는 있으나 선진국의 재활용률이 60% 이상인 것을 감안하면, 앞으로는 다양한 용도로의 재활용 기술을 개발하여야 한다[1-3].

본 연구에서는 석탄회를 이용한 수 처리용 흡착제로의 이용 가능성을 타진하기 위해 합성 및 활용에 관한 제반 조업특성은 고탄소 석탄회를 이용한 흡착제의 개발에서 석탄회를 NaOH 수용액을 이용, 수열합성 방법으로 합성한 제올라이트의 기본적인 물성과 pH의 변화에 대한 흡착성질, 암모니아성 질소의 흡착 능력, 구(bead)형 제립 조건 등은 보고되었기 때문에 서술하지 않았다[4].

따라서 합성한 제올라이트에 대한 양이온 교환능 실험과 모사 폐액을 이용하여 중금속(P, Pb, Cd, Cr, Mn)에 대한 흡착능 실험을 하였다[4-7].

또한 석탄회에 대한 정확한 특성을 파악하고자 성분분석과 XRD, SEM, TGA, 비 표면적에 대한 분석을 수행하였다.

2. 실험

화력발전소에서 배출되는 석탄회를 분급에 의해 일부 미연소 탄소를 제거하고 남은 탄소성분이 3%정도인 회분을 원료로 사용하였다. 합성 시약으로는 NaOH(Junsei Co., G.R.), 산처리 시약으로는 HCl(Junsei Co., G.R.)을 사용하였고, 중금속 흡착성능을 측정하기 위하여 모사 폐액 제조시약으로 Ortho Phosphate, Pb(NO₃)₂, Cd(Cl)₂, MnCl₂, Cr(NO₃)₃ standard solution(Junsei Co., 1,000 mg/l)을 희석하여 사용하였으며, 양이온 교환용량의 측정을 위하여 Ca(NO₃)₂, CaCl₂, NH₄Cl, AgCOOH, C₂H₅OH(Junsei Co., G.R.)를 사용하였다.

2-1. 실험장치 및 합성

석탄회로부터 제올라이트를 합성하기 위하여, 실험실 규모의 합성장치를 제작하였다. Fig. 1은 실험실 규모의 장치로서 환류 냉각기가 부착된 용량 1l의 3구 플라스크를 주 반응장치로 사용하였다. 3구 플라스크는 합성 시 강알칼리 용액에 의해 내부가 손상되는 것을 방지하기 위해 테프론으로 코팅하였다. 반응기내의 온도조절을 위해 온도계 및 온도 조절기가 부착된 히팅 맨틀(TOPS Co., M/N: EAM 9203-03, 500 ml)을 이용하였으며, 반응을 촉진시키기 위하여 내부에 교반기를 설치하였다. 이와 같은 실험을 수행하기 위한 합성공정도를 Fig. 2에 나타내었다.

산 처리한 석탄회를 이용하여 1, 2, 4, 6, 10 M-NaOH 농도로 용액을 제조하여, 각각의 농도에서 합성온도를 100 °C, 합성시간을 4, 6, 12시간 변화시켜 합성하였다. Fig. 3은 SiO₂/Al₂O₃의 농도와 합성시간에 따른 물 비를 그림으로 나타내었다. 그림에서와 같이 SiO₂/Al₂O₃의 물 비를 보면 농도가 증가할수록 감소하는 경향을 보여주는데, 이는 알칼리도의 증가에 따라서 Al₂O₃의 함유량이 증가하고, SiO₂는 감소하는 경향을 보여주고 있다. 이러한 현상이 일어나는 이유는 알루미늄을 구형성하는 Al₂O₃와 SiO₂가 Na⁺와 반응하여 Na-알루미늄을 형성하면서 2AlO₂⁻을 생성하고, 이 물질이 SiO₂와 치환반응을 함으로써 생성물 내에 Si의 농도가 감소하고 Al의 농도가 증가하기 때문이라 판단된다.

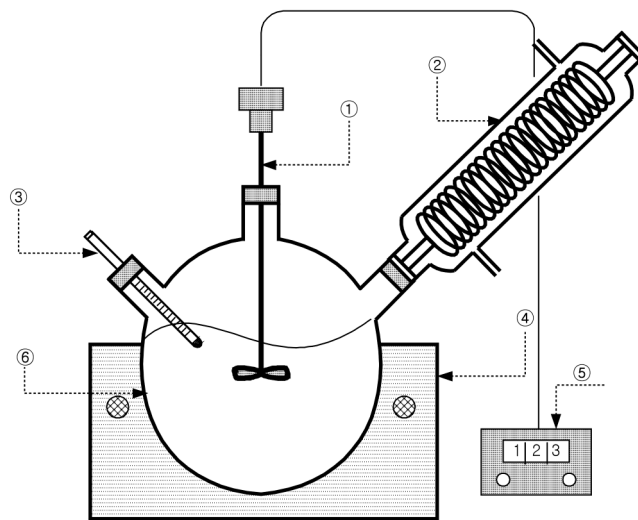


Fig. 1. Schematic diagram of lab. scale manufacturing apparatus.

- 1. Agitator
- 2. Reflux condenser
- 3. Thermometer
- 4. Heating mantle
- 5. Speed controller
- 6. Teflon coated flask

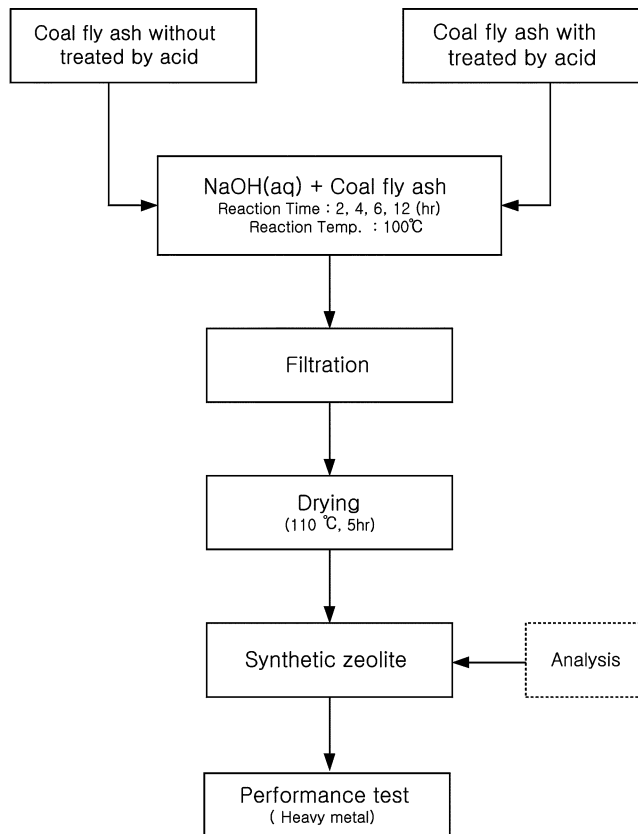


Fig. 2. Manufacturing procedure of zeolite from coal fly ash.

Fig. 4는 Na₂O/Al₂O₃의 물 비를 나타낸 그림이다. SiO₂/Al₂O₃와는 반대로 알칼리 용액의 농도가 증가할수록 물 비가 증가하는 경향을 보여 주고 있다. 이와 같은 현상은 Al³⁺이 AlO₂⁻ 형태로 반응물 내에 있는 SiO₂와 치환되는 과정에서 전기적으로 음 전하를 띠면서, 알칼리 용액 중에 함유된 Na⁺ 이온인 양 전하를 받아들이면서 중성인 NaAlO₂를 생성하면서 나타내는 현상이라 판단된다.

따라서 합성 제올라이트에 대한 XRD, SEM, TGA, 비 표면적 등을 측정하고 이의 해석을 통하여 정확한 성상을 파악하고자 하였다.

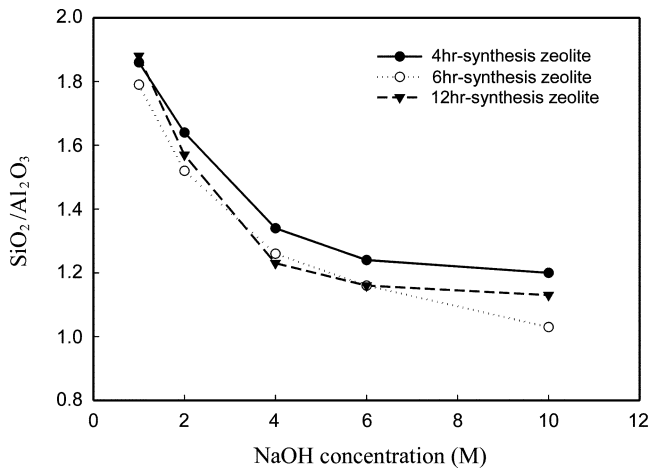


Fig. 3. The SiO₂/Al₂O₃ mole ratios in according to NaOH concentration in various synthesis time.

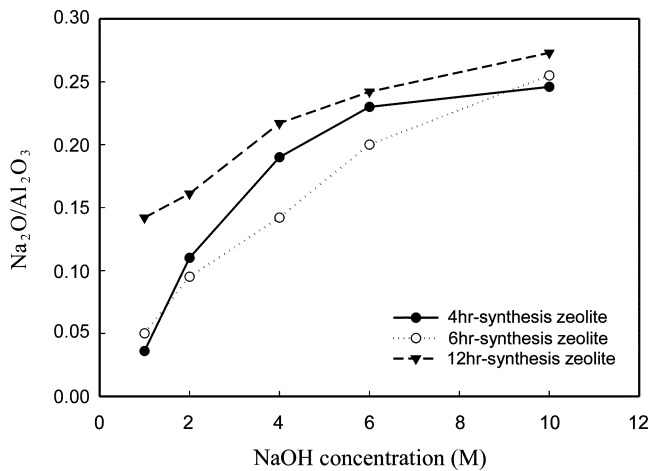
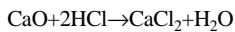


Fig. 4. The Na₂O/Al₂O₃ mole ratios in according to NaOH concentration in various synthesis time.

2-2. 석탄회 의 산 처리

석탄회를 산 처리한 후 합성실험을 하였다. 이는 석탄회가 자체적으로 강한 알칼리성(pH 12)를 띠고 있기 때문에 이를 산 처리하여 중성 영역의 시료를 만들것자 하기 때문이다. 석탄회에는 주성분이 SiO₂와 Al₂O₃로 구성되어 있고, 미량의 알칼리금속 및 알칼리 토류금속들 즉 CaO, Na₂O, K₂O, MgO 등을 함유하고 있는데 이들 성분 중에서 다른 알칼리 금속 염들 보다 많은 양을 함유하고 있는 CaO가 알칼리도를 좌우한다고 판단하였다. 따라서 이를 제거하기 위해 HCl를 서서히 넣어 주면서 교반하였다. 이때의 반응은 다음과 같이 일어난다.



Ca 이온이 염으로 되면서 pH의 변화가 일어나며, 이 pH가 7-8사이 에 도달하였을 때 교반을 멈추고, 성분분석을 한 결과를 Table 1에 나타내었다. 이 결과에서 보면 CaO의 비율이 8.45 wt%에서 4.79 wt%로 감소 하였음을 알 수 있었다.

Table 1. Compositions analysis of coal fly ash

| Composition | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Na ₂ O | CaO | Fe ₂ O ₃ | MgO | K ₂ O | L.O.I |
|-----------------------------------|------------------|--------------------------------|-------------------|------|--------------------------------|------|------------------|-------|
| Coal fly ash (wt%) | 51.60 | 28.01 | 0.83 | 8.45 | 4.83 | 1.72 | 0.61 | 3.95 |
| Coal Fly ash treated by HCl (wt%) | 54.12 | 29.19 | 0.82 | 4.79 | 4.77 | 1.69 | 0.63 | 3.99 |

2-3. 양이온교환능력 측정

양이온 교환능력(CEC)은 하라다 방법을 이용하여 측정하였다. 충분히 건조한 시료 2g을 100 ml 용기로 원심 분리기에 넣어, 1 N-Ca(NO₃)₂ 수용액을 약 20 ml가한 다음, 잘 섞은 후 24시간동안 정치하였다. 원심 분리하여 상등액을 버리고, 이를 중류수로 2회 씻어 준 다음, 1 N-CaCl₂ 수용액 약 5 ml와 1 N-Ca(NO₃)₂ 수용액 약 15 ml를 가한 다음 세척하였다. 이러한 과정을 반복하여 3회 실시하였다. 치환반응에 관여하지 않은 과잉의 Ca염을 제거하기 위해서, 80% C₂H₅OH 수용액을 약 20 ml 넣은 후 교반한 다음, 원심 분리하여 상등액을 버렸다.

세척은 상등액 중에 AgCOOH를 조사하여 염소 이온이 검출되지 않을 때까지 되풀이하였다. 다음에 양이온 교환점에 흡착하고 있는 Ca 이온을, 1 N-NH₄Cl 수용액 20ml를 가하여 교반, 원심 분리하고 추출하는 조작을 5회 되풀이하였다. 이 용액중의 Ca 이온의 양을 ICP(inductively coupled plasma, Jallel ash, model: IRIS DUO)로써 측정하였다.

2-4. 중금속 흡착실험

중금속 흡착실험은 250 ml 삼각플라스크에 각 중금속의 standard solution을 1, 2, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 13, 17, 22 mg/l로 희석하였다. 석탄회를 4 M-NaOH로 4시간의 조건에서 합성한 제올라이트 0.1g을 정확히 칭량하여 희석한 중금속 용액 100ml에 넣고, 30 °C에서 1시간 동안 항온수조내에서 흡착실험을 하였다. 또한 1 M-NaOH를 이용하여 각 희석용액을 pH 6으로 조절하였으며, Mn의 경우에는 NaOH 첨가시 침전이 생기므로 pH 조절을 하지 않고 그대로 사용하였다. 이렇게 실험한 결과를 ICP(inductively coupled plasma, Jallel ash, model: IRIS DUO)로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 양이온교환능력

충분하게 건조된 시료를 105 °C에서 건조하여 중량법으로써 수분함

Table 2. The CEC of synthesis and commercial zeolites

| Sample | CEC |
|--------------------------|-----|
| Acid Treat. Coal fly ash | 30 |
| 4hr-1 M-NaOH | 124 |
| 4hr-2 M-NaOH | 207 |
| 4hr-4 M-NaOH | 272 |
| 4hr-6 M-NaOH | 261 |
| 4hr-10 M-NaOH | 201 |
| 6hr-1 M-NaOH | 195 |
| 6hr-2 M-NaOH | 262 |
| 6hr-4 M-NaOH | 257 |
| 6hr-6 M-NaOH | 92 |
| 6hr-10 M-NaOH | 89 |
| 12hr-1 M-NaOH | 265 |
| 12hr-2 M-NaOH | 262 |
| 12hr-4 M-NaOH | 212 |
| 12hr-6 M-NaOH | 204 |
| 12hr-10 M-NaOH | 91 |
| 5A-type zeolite | 250 |
| Y-type zeolite | 200 |

량을 구하고, Ca 이온을 측정하여 시료 100 g당 CEC(meq/100 g)값을 산출하였다.

이러한 방법으로 석탄회와 NaOH의 농도를 1, 2, 4, 6, 10 M에서 4, 6, 12시간에서 합성한 제올라이트. 상업용 제올라이트(5A, Y-type)에 대한 양이온 교환능력(CEC)을 측정한 결과를 Table 2에 나타내었다.

이 표에 나타낸 바와 같이 석탄회는 CEC가 30 meq/100 g이며, 합성 제올라이트는 90-272 meq/100 g, 상업용 제올라이트는 200-250 meq/100 g 정도를 나타내었다[8]. 일정한 합성시간에서 NaOH의 농도와 합성시간을 변화시킨 결과 CEC 값은 4시간에서 4 M-NaOH, 6시간에서 2 M-NaOH, 12시간에서 1 M-NaOH의 합성 조건에서 최대 값을 나타내었다. 이러한 값들은 기준에 실험한 암모니아성 질소 이온 교환량과도 잘 일치하였다[4].

3.2. 성분분석 결과

석탄회의 형태를 알아보기 위하여 XRD(Rikaku Co., M/N: minflex)을 이용하였으며, 분석한 사진을 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 5에서는 순

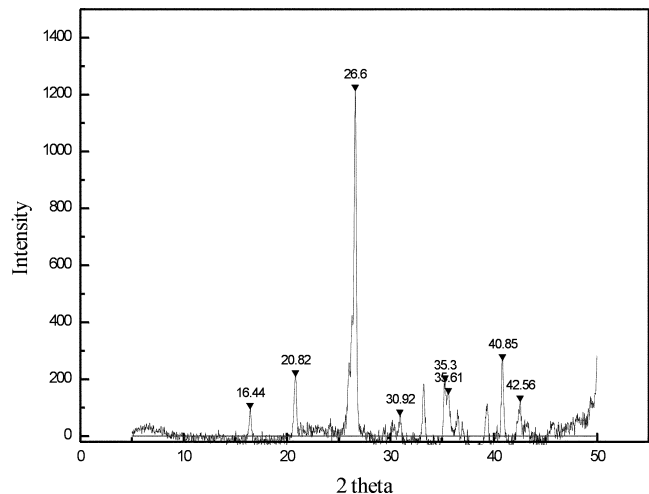


Fig. 5. XRD pattern of coal fly ash.

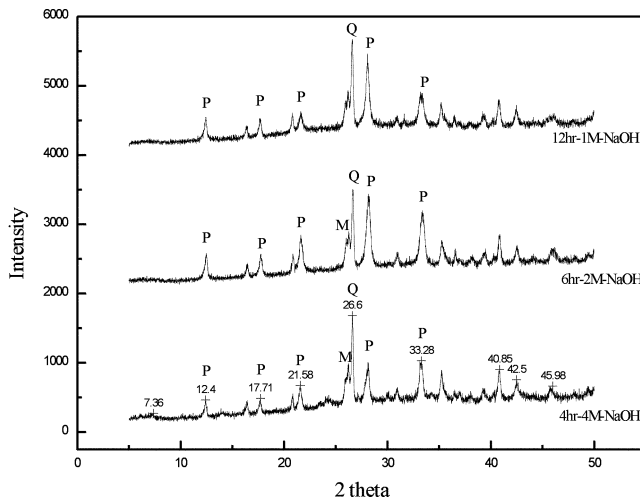


Fig. 6. XRD pattern of synthesized zeolite in various conditions. 4 hr-4 M, 6 hr-2 M, 12 hr-1 M-NaOH (P=Phillipsite, Q=Quartz, M=Mullite.)

수한 석탄회를 나타낸 그림으로 시료의 주성분인 SiO₂와 Al₂O₃가 높은 온도에서 강열되었기 때문에 2θ값이 16.6, 26.0, 26.3, 31.0, 33.0에서 플라이트(Al₂Si₂O₁₃)의 피크가 나타나고 있으며 21.0, 26.7, 35.3, 39.4에서는 석영(SiO₂)이 주로 나타나는 형상을 보여주고 있다. Fig. 6은 산 처리한 석탄회를 원료로 하여 합성시간을 일정하게 하고 NaOH의 농도를 변화시키면서 제조한 합성제올라이트에 대한 XRD 피크를 나타낸 것이다. 이는 양이온 교환능력 실험결과 얻어진 값을 토대로 하여 각 실험 조건에서 양이온교환능력이 가장 좋은 조건 즉, 4 hr-4 M, 6 hr-2 M, 12 hr-1 M에서 얻어진 값을 기준으로 하였다. 이 그림에서 보면 양이온 교환능력이 가장 좋은 조건에서 합성된 제올라이트의 XRD 피크 형태가 거의 같은 경향으로 나타났으며, XRD의 2θ값이 12, 18, 21.5, 28, 33에서 새로운 피크가 생성되었다. 이러한 구조는 phillipsite에서 나타내는 XRD 주요 피크로 석탄회가 phillipsite로 전환되었음을 보여주고 있다. 이는 Suyama Yoko 등[9]이 보고된 내용과도 잘 일치하였다.

Fig. 7은 순수한 석탄회와 산 처리한 석탄회, Table 2의 실험 결과에

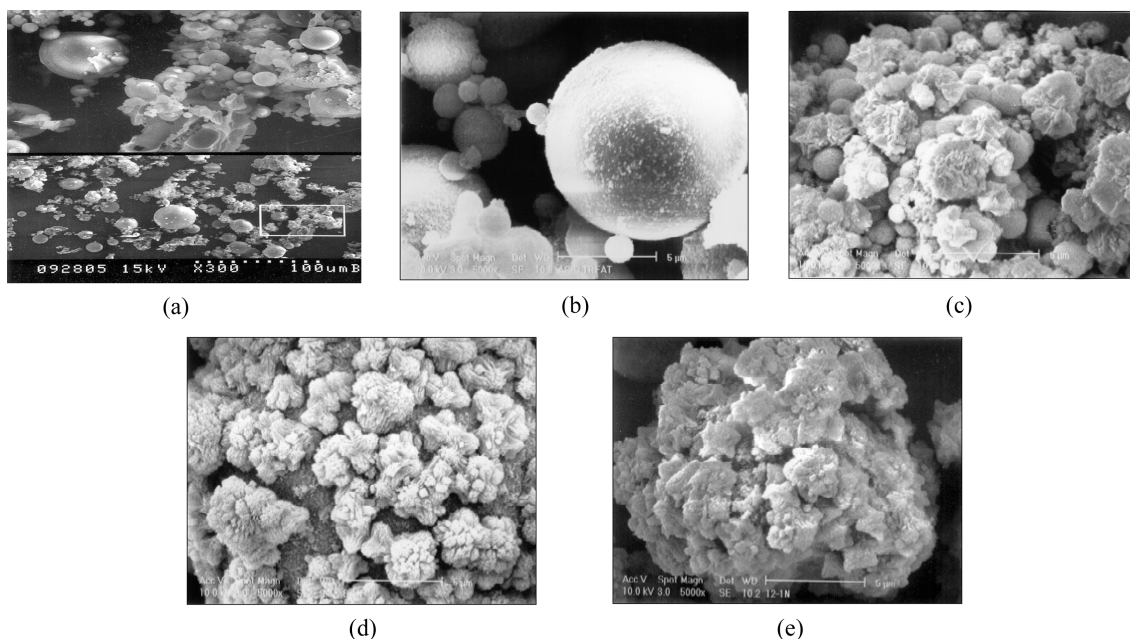


Fig. 7. SEM photograph of typical zeolite.

(a) Coal fly ash, (b) Acid treated coal fly ash, (c) 4 hr-4 M-NaOH, (d) 6 hr-2 M-NaOH, and (e) 12 hr-1 M-NaOH

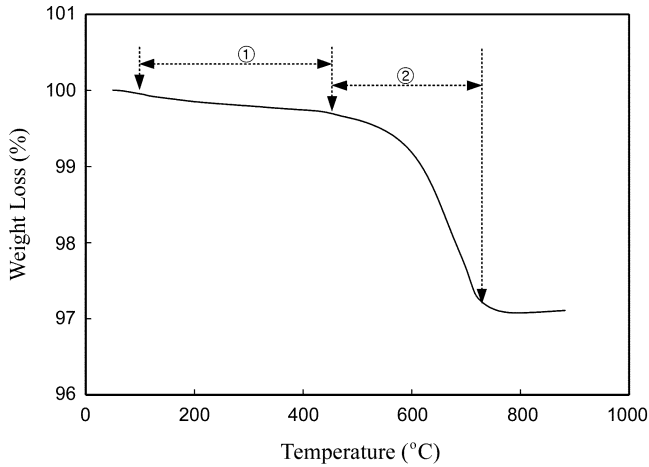


Fig. 8. TGA curve of coal fly ash.

서 가장 우수한 양이온 교환능력을 가진 시료에 대한 SEM(Hitachi Co. M/N: S-2500)사진을 나타내었다. 사진에서와 같이 (a)는 표면이 매끄러운 유리구슬 모양을 띠고 있으며, 이는 미분탄이 연소로에서 고온으로 가열시 cenosphere와 plerosphere들이 수축되면서 일어나는 현상이라고 생각된다. (b)는 강한 산에 의해서 파괴되어 거친 표면 구조를 나타내고 있다.

(c)의 사진에서는 석탄회나 산 처리한 석탄회에서 나타난 구형의 유리상 결정구조 형태가 없어지고, 층상의 형태가 나타나는데, 이는 강한 알칼리 용액에 의해 SiO₂가 유리되면서 구조적인 변화가 발생되었기 때문이다[10]. 제올라이트의 구조가 층상의 형태를 나타내는 것은 phillipsite의 전형적인 형태이다. Phillipsite의 구조는 층상으로 넓어진 축합형식이 탁월하며 층간으로 축합하기 때문에 전체로는 삼차원적 골격구조를 구성한다고 보고되었다[11]. 사진(d)와 (e)에서도 (c)에서 나타난 phillipsite의 형태인 층상의 형태를 보여주고 있다.

석탄회의 열분해 특성을 조사하기 위하여 TGA(Dupont Co. M/N: SDT 2960)분석을 하여 Fig. 8에 나타내었다. 분석조건으로 공기가 공급되는 분위기에서 온도범위를 상온에서 900°C, 승온은 10°C/min로 하여 분석하였다. 이 그림에서 보면 질량은 ①에서와 같이 100-400°C에서 약 0.4% 정도 감소가 일어나는데 이는 시료 중에 포함되어 있던 미량의 수분이 제거되면서 나타나는 감량이라 판단되며, ②에서는 400-700°C에서 약 3%정도의 무게 감량이 나타나는데 이는 시료 중의 미연소 탄소의 연소에 따른 감량으로 판단된다.

Fig. 9는 석탄회를 산 처리한 후 합성시간을 4시간에서 4 M-NaOH로 합성한 제올라이트를 이용하여 온도변화에 따른 질량 감소변화를 나타

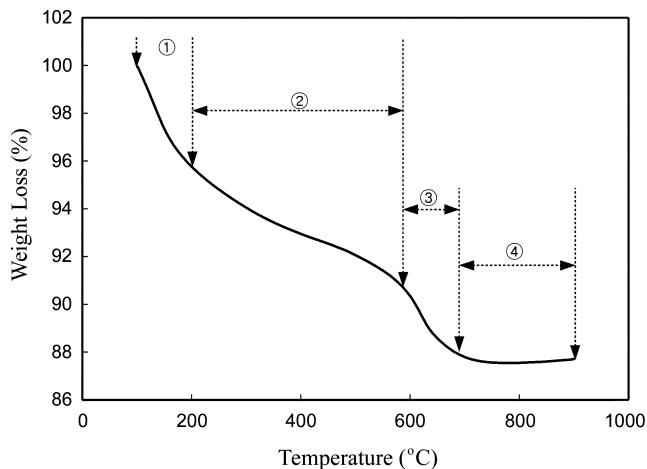


Fig. 9. TGA curve of synthesis zeolite at 4 hr-4 M-NaOH.

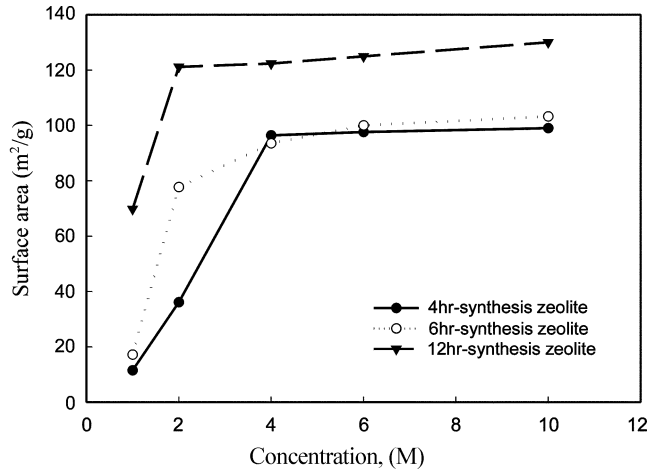


Fig. 10. S_{BET} curve of synthesis zeolite.

낸 그림이다.

그림에서 ①로 표시된 부분 즉 100-200°C까지는 제올라이트 속에 포함된 수분과 미연소 탄소가 제거되는 단계로서 약 4% 정도의 무게 감소가 일어났으며, ②로 표시된 부분, 즉 200-600°C까지는 약 4.5%의 감소율을 나타내는데 이는 제올라이트에 있는 일부분의 미연소 탄소와 제올라이트 합성과정에서 증착된 Na⁺이 서서히 증발되는 단계라 생각되어진다. 또한 ③으로 표시된 부분, 즉 600-700°C에서는 약 2.5% 정도의 감소율을 보이는데, 이는 제올라이트 중에 포함된 Na⁺이 완전히 증발되는 단계라고 판단된다. ④로 표시된 부분은 질량 감소가 나타나지 않았다.

따라서 각 시간과 농도에서 합성한 제올라이트의 S_{BET}(BET, Micrometrics Co., M/N: ASAP 2010)를 측정하여 Fig. 10에 나타내었다. 이 그림에 나타난 바와 같이 합성시간에 따라서 NaOH의 농도가 증가함에 따라 S_{BET}값도 증가하는 경향을 보여주고 있다. 그러나 흡착량은 S_{BET} 값이 크다고 하여 증가하는 것은 아니라고 생각된다. Table 2의 양이온교환 능력 측정에서 나타난 바와 같이 4 hr-4 M-NaOH, 6 hr-2 M-NaOH, 12 hr-1 M-NaOH에서 가장 크게 나타났지만 S_{BET}는 70-100(m²/g)의 값을 나타냈다. 이는 세공구조가 phillipsite는 4.2-4.5 Å, sodalite는 2.6 Å으로 합성시간과 농도가 증가하면서 phillipsite에서 sodalite로 구조가 변하고, 세공면적도 변하는 것으로 판단된다[4]. 따라서 미세공이 발달하여 전체적인 S_{BET}은 증가된 것이다.

3-3. 중금속(P, Pb, Cd, Cr, Mn) 흡착량

산 처리한 석탄회로 합성한 제올라이트를 이용하여 중금속에 대한 흡

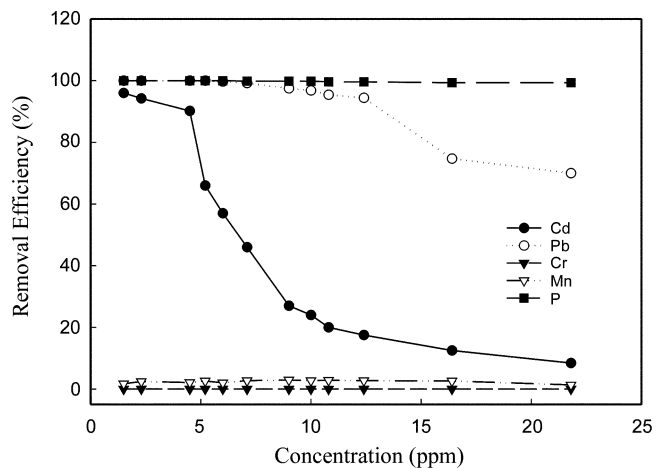


Fig. 11. Removal efficiency of heavy metals using synthesis zeolite.

작 실험한 결과를 Fig. 11에 도시하였다. 그림에서 보면 P는 농도에 관계없이 흡착량이 우수한 결과를 보여주고 있다. 그러나 Pb 및 Cd는 저농도에서는 거의 완벽한 중금속 흡착능을 보여주고 있지만 고농도로 갈수록 흡착량에 차이를 나타내고 있다. Pb는 농도가 15 mg/l 이상에서, Cd는 5 mg/l 이상에서는 급격히 흡착량이 감소하는 경향을 보여주고 있다. 그러나 Mn과 Cr은 전혀 흡착이 이루어지지 않았다. 이 원인으로 Mn과 Cr은 pH 2.0영역 즉 강 산성영역에서 제올라이트의 표면이 양성화되어 흡착능력이 증가하며, pH 5 이상에서는 흡착능이 거의 일어나지 않는다고 Panday 등[5, 7]이 보고한 내용과도 일치하였다. 이는 석탄회로 합성한 제올라이트는 pH 8.5정도로써 Mn 및 Cr에 대하여 알칼리도가 높기 때문에 흡착이 잘 이루어지지 않는 것으로 판단된다.

4. 결 론

폐기되는 석탄회를 산처리하여 NaOH 용액에 수열합성 반응시켜 제올라이트를 합성하였으며, 이를 이용하여 양이온교환실험과 중금속 흡착실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

산 처리한 석탄회를 이용하여 제올라이트 합성시 4 hr-4 N-NaOH, 6 hr-2 N-NaOH, 12 hr-1 N-NaOH의 양이온교환능력이 가장 우수하였으며, 이때의 제올라이트 구조는 phillipsite의 형태를 띠며, 4 hr-4 N-NaOH의 조건에서 합성한 제올라이트가 선택적인 중금속(P, Pb, Cr)의 제거능력이 우수하게 나타났으며, 중금속 제거 실험은 pH가 8-10 사이에서 우수한 흡착능을 보여 주었다.

참고문헌

1. Cha, D. W. and Lee, H. S., "Current Status of Fly Ash and FGD/Gypsum Utilization in KEOPCO," 249-252(1999).

2. Cha, D. W. and Lee, H. S., "Current Status of Fly Ash and FGD/Gypsum Utilization in KEOPCO," 256-260(1999).

3. Um, M. H., Choi, J. J. and Lee, J. S., "Effect of Coal Fly Ash on the Physical Properties of Mortar," *J. of Kor. Ind & Eng. Chem.*, **6**(3), 435-445(1995).

4. Baek, I. H., Min, B. M., Choi, W. G., Lee, J. S. and Roo, W. H., "Development of Adsorbent Using Highly Unburned Carbon Fly Ash," Kier-A03709(2000).

5. Panday, K. K., "Removal of Cr(VI) from Aqueous Solution by Adsorption on Fly Ash - Wollastonite," *J. Chem. Tech. Biotechnol.*, **34A**, 367-374(1984).

6. Sauve, S. and Hendershot, W., "Lead Phosphate Solubility in Water and Soil Suspensions," *Environ. Sci. Technol.*, **32**, 388-383(1998).

7. Panday, K. K., "Removal of Chromium from Water by Adsorption Process," *Proc. Symp. Fundam. Appl. Electrochem.*, Bombay, 330-334(1982).

8. Shin, B. S., Lee, S. O. and Kook, N. P., "Preparation of Zeolitic Adsorbents from Waste Coal Fly Ash," *Korean J. of Chem. Eng.*, **12**(3), 352-357(1995).

9. Suyama Y., "NH₄⁺-Adsorption Characteristics of Zeolites Synthesized from Fly Ash," *Nippon Kagaku Kaishi*, **2**, 136-140(1996).

10. Kim, M. Y. and Park, S. H., *Mineralogy of Fly ash, Kigam*, KR-95(B)-5, 38-43(1995).

11. "Development of Resources Recycling for Zeolite transversion on Industrial Waste," Environmental measure series(1), Japan, 34-363(1994).